



## BMUV-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

### Abschlussbericht

zum Vorhaben

***Bau und Betrieb einer neuartigen Nass-Regenerierungs-Anlage für Gießereisande, die mit anorganischem Binder belastet sind (KfW-Aktenzeichen: NKa3 – 003705)***

Zuwendungsempfängerin

***FSP GmbH (FSP, Foundry Sand Processing)***

Umweltbereich

***Kreislaufwirtschaft, Ressourcenschonung, CO<sub>2</sub>-Einsparung***

Laufzeit des Vorhabens

***27.03.2023 – 31.12.2025***

Autor/-en

***Falk Denke, Stefan Zimmermann, Frank Willmroth***

**Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit  
und Verbraucherschutz**

Datum der Erstellung

***13.04.2026***

## Berichts-Kennblatt

|   |  |
|---|--|
| Aktenzeichen UBA:   | Projekt-Nr.: Nka3-003705                     |
| Titel des Vorhabens:<br><b><i>Bau und Betrieb einer neuartigen Nass-Regenerierungs-Anlage für Gießereisande, die mit anorganischem Binder belastet sind</i></b>   |  |
| Autor/-en (Name, Vorname):<br>Denke, Falk<br>Zimmermann, Stefan<br>Willmroth, Frank   | Vorhabenbeginn: 27.03.2023                   |
|   | Vorhabenende<br>(Abschlussdatum): 31.12.2025 |
| Zuwendungsempfänger/-in (Name, Anschrift):<br>FSP GmbH<br>Am Westkai 9<br>70327 Stuttgart   | Veröffentlichungsdatum: 02.12.2026           |
|   | Seitenzahl: 1 - 36                           |
| Gefördert im BMUV-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz   |  |
| Kurzfassung (max. 1.500 Zeichen): Das Projekt „Nass-Regenerierung für Gießereisande“ entwickelt und erprobt eine neuartige Anlage, mit der anorganisch gebundener Gießereialsand gewaschen, getrocknet und wieder als Formsand eingesetzt werden kann, statt auf Deponien zu landen. Kerninnovation ist ein Nassverfahren mit patentiertem Trockner mit Kondensationsenergie-Rückgewinnung und einer Vakuumdestillationsanlage für das Waschwasser. Dadurch wird der spezifische Energiebedarf von 416 kWh/t (therm. -mech. Regeneration) auf 84 kWh/t Altsand (Nassregeneration) gesenkt. Die Anlage erreicht eine so hohe Regeneratqualität, dass der Neusandbedarf von 50% auf etwa 10% der Sandmenge reduziert und gleichzeitig die Staub- und Abfallmengen deutlich verringert werden. Dadurch sinken CO <sub>2</sub> -Emissionen sowohl aus Energieeinsatz als auch aus Transport und Deponierung um über 1 Mio. kg CO <sub>2</sub> pro Jahr bei 16.500 t/a Sandbedarf. Hochwertiger Quarzsand erfährt durch die Regeneration ein Upcycling, verbleibt im Kreislauf und schont damit die Ressource, die weltweit knapp und regional konzentriert ist. |  |

Schlagwörter: Gießereisand, Regeneration, Kreislaufwirtschaft, Nasssand-Regeneration

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Anzahl der gelieferten Berichte | Sonstige Medien:   |
| Papierform: Din A4              | Veröffentlichung im Internet   |
| Elektronischer Datenträger:     | geplant auf der Webseite:<br><a href="https://fsp.gmbh/news/anlage-in-betrieb/">https://fsp.gmbh/news/anlage-in-betrieb/</a> |

## Report Coversheet

|  |                              |
|--|------------------------------|
| Reference-No. Federal Environment Agency:  | Project-No.:<br>Nka3-003705  |
| Report Title: Construction and operation of a novel wet regeneration plant for foundry sands contaminated with inorganic binders   |                              |
| Author/Authors (Family Name, First Name):<br>Denke, Falk<br>Zimmermann, Stefan<br>Willmroth, Frank   | Start of project: 27.03.2023 |
|  | End of project: 31.12.2025   |
| Performing Organisation (Name, Address):<br>FSP GmbH<br>Am Westkai 9<br>70327 Stuttgart  | Publication Date:            |
|  | No. of Pages: 36             |
| Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection  |                              |
| <p>Summary (max. 1.500 characters):</p> <p>The “Wet Regeneration for Foundry Sands” project is developing and testing a novel plant that can be used to wash, dry, and reuse inorganic bound foundry waste sand as molding sand instead of sending it to landfill. The core innovation is a wet process with a patented dryer with condensation energy recovery and a vacuum distillation plant for the washing water. This reduces the specific energy requirement from 416 kWh/t (thermal-mechanical regeneration) to 84 kWh/t of used sand (wet regeneration). The plant achieves such a high quality of regenerated sand that the demand for new sand is reduced from 50% to around 10% of the sand quantity, while at the same time significantly reducing dust and waste volumes. This reduces CO<sub>2</sub> emissions from energy use, transport, and landfill by over 1 million kg CO<sub>2</sub> per year for 16,500 t/a of sand demand. High-quality quartz sand is upcycled through regeneration, remains in the cycle, and thus conserves this resource, which is scarce worldwide and concentrated in certain regions.</p> |                              |
| Keywords: Foundry sand, regeneration, circular economy, wet sand regeneration  |                              |

## INHALTSVERZEICHNIS

|   |    |
|---|----|
| 1. Einleitung.....  | 1  |
| 1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner.....   | 1  |
| 1.2. Ausgangssituation.....   | 1  |
| 2. Vorhabenumsetzung .....  | 1  |
| 2.1. Ziel des Vorhabens.....  | 1  |
| 2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten).....  | 2  |
| 2.3. Umsetzung des Vorhabens .....  | 3  |
| 2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen).....   | 5  |
| 2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten.....  | 6  |
| 2.6. Konzeption und Durchführung des Messprogramms.....   | 6  |
| 3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung .....  | 7  |
| 3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung.....  | 7  |
| 3.2. Stoff- und Energiebilanz .....   | 8  |
| 3.3. Umweltbilanz .....   | 11 |
| 3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse .....   | 14 |
| 3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren.....  | 21 |
| 4. Übertragbarkeit.....   | 21 |
| 4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung.....  | 21 |
| 4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des<br>Verfahrens/der Anlage/des Produkts)..... | 22 |
| 4.3. Kommunikation der Projektergebnisse.....   | 23 |
| 5. Zusammenfassung / Summary.....   | 24 |
| 5.1 Zusammenfassung (deutsch) .....   | 24 |
| 5.2 Summary (englisch) .....  | 27 |
| 6. Literatur.....   | 29 |
| 7. Anhang.....  | 30 |
| 7.1 Anhang „Genehmigung gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz“ .....  | 30 |

## 1. Einleitung

### 1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner

Die FSP wurde 2022 als Gemeinschaftsunternehmen zweier starker Partner gegründet: der **Heinrich Feeß GmbH & Co. KG**, Pionier im Recycling mineralischer Baustoffe, und der **DEANTEC GmbH**, Technologieführer in der Nasssand-Regenerierung. Der Schwerpunkt des Unternehmens besteht in der Entwicklung und dem Bau von innovativen Anlagen, auf der Basis eigener Patente, zum Recycling von Gießereisand.

### 1.2. Ausgangssituation.

In Leichtmetallgießereien, vor allem im Großserienguss in der Automobilindustrie, hat sich das anorganische Binderverfahren zur Herstellung der Sandkerne durchgesetzt. Ein großes Problem bei dem Gießverfahren war bisher die Regenerierbarkeit des Altsandes, also den Sand nach dem Auspacken so aufzubereiten, dass man damit wieder neue Sandkerne herstellen kann. Dafür muss der Restbinder von den Sandkörnern weitestgehend entfernt werden. BMW hat dafür eine Kombination aus mechanischer Regenerierung und thermischer Nachbehandlung bei ca. 650 °C entwickelt. Durch Zugabe von 50 % Neusand war man damit wieder im Stande den Sand wieder zu verwenden.

Bekannt ist, dass anorganische Binder auf Wasserglasbasis wasserlöslich sind. D.h., der Binder lässt sich abwaschen. Problematisch ist in dem Zusammenhang das Abwasser aufzubereiten und energieeffizient den Regeneratsand zu trocknen. Für die Wasseraufbereitung wurde ein Verfahren der *H<sub>2</sub>O GmbH* eingesetzt, welches in einem Destillationsprozess (Vakuumverdampfer, VACUDEST L) das Wasser aufbereitet. Das Trocknen geschieht in einem von uns patentierten Trockner mit Kondensationsenergie-Rückgewinnung ([DE102021111593A1](#)). Auf diese Weise wird nur noch halb so viel Energie benötigt wie bei den Wettbewerbern üblich.

## 2. Vorhabenumsetzung

### 2.1. Ziel des Vorhabens

Ziel des Projektes war es den Altsand einer Gießerei nicht mehr zu deponieren, sondern für den ursprünglichen Zweck der Formherstellung wieder aufzubereiten. Damit alle einen Vorteil davontragen, müssen die Kosten für die Aufbereitung (inkl. Transport) niedriger sein als die Kosten für die Neusand-Beschaffung und die Entsorgung des Altsandes (jeweils inkl. Transport).

Gemäß dem Stand der Technik wurde dies durch eine Kombination aus mechanischer und thermischer Regenerierung und durch die Zugabe von Neusand erreicht. Das Verfahren ist sehr

energieintensiv und mit einer hohen Kornzerstörung verbunden. Die zerstörten Sandkörner müssen als Staub entsorgt werden und durch Neusand ersetzt werden. Hier war es oft wirtschaftlicher auf die Regeneration ganz zu verzichten.

Das **neue Verfahren der FSP GmbH kommt mit 75 % weniger Energie aus**, im Vergleich zur thermisch-mechanischen Regenerierung. Die Regeneratqualität ist so gut, dass damit wieder alle Sandkerne gefertigt werden können und nur eine geringe Ergänzung durch Neusand erforderlich ist.

## 2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Gemäß dem **Stand der Technik** wurde bisher eine **mechanisch-thermische Regeneration** des Gießereisandes angewendet, z.B. von *BMW* und *Mercedes*. Diese Verfahren wurde aber nicht routinemäßig eingesetzt, da es **sehr energieintensiv** war, **416 kWh/t Altsand**, und 50 % des Altsandes trotzdem ersetzt werden mussten (Tabelle 2). Da der anorganische Binder, „Wasserglas“, sich wieder gut in Wasser lösen lässt, hätte sich auch in der Vergangenheit die Nasssandgeneration angeboten. ABER die Trocknung des Regeneratsandes für die Wiederverwertung war viel zu aufwändig.

Erst in Verbindung mit unserem patentierten Trocknungsverfahren konnte in dem vorliegenden Projekt die **Energieeffizienz der Nasssand-Regeneration** soweit **gesteigert** werden, dass **nur noch 84 kWh/t Altsand-Regeneration** aufgewendet werden müssen. Verantwortlich dafür ist unser neuartiger Trockner, bei dem die feuchtheiße Luft aus dem Inneren der Trommel abgesaugt wird und unter zusätzlichem Druck in den Zwischenraum gepresst wird, der durch eine Metallummantelung der Trockentrommel entsteht. In diesem Zwischenraum kondensieren die Wassermoleküle, d. h., sie lagern sich aufgrund ihrer Oberflächenpolarität (Dipol-Eigenschaft) zusammen. Dabei geben sie ihre kinetische Energie in Form von Kondensationswärme durch die innere Trommelummantelung an das Schüttgut in der Trockentrommel wieder ab. Diese Form der **Kondensationsenergie-Rückgewinnung** ist der **Schlüssel zur nun energieeffizienten**, und damit **ökonomischen, schonenden Nasssand-Regeneration**.

Einen wichtigen Teil zur Energieeffizienz trägt die Waschwasser-Aufbereitungsanlage bei. Die Wasseraufbereitung erfolgt mit einer Destillationsanlage, bei der 95 % der benötigten Energie auch wieder als Kondensationsenergie zurückgewonnen werden. Das dabei entstehende destillierte Wasser ist extrem rein und optimal für die Wiederverwendung im Altsand-Waschprozess.

## 2.3. Umsetzung des Vorhabens

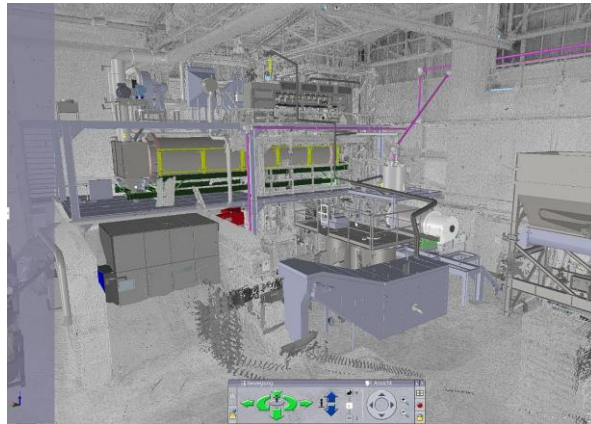
### 2.3.1 Planungsphase

**Laserscan der Halle:** In einem Schritt wurde ein Laserscan der Betriebshalle durchgeführt, um eine Grundlage für den virtuellen Einbau der Gießerei-Altsand-Aufbereitungsanlage bereitzustellen (Abb. 1).



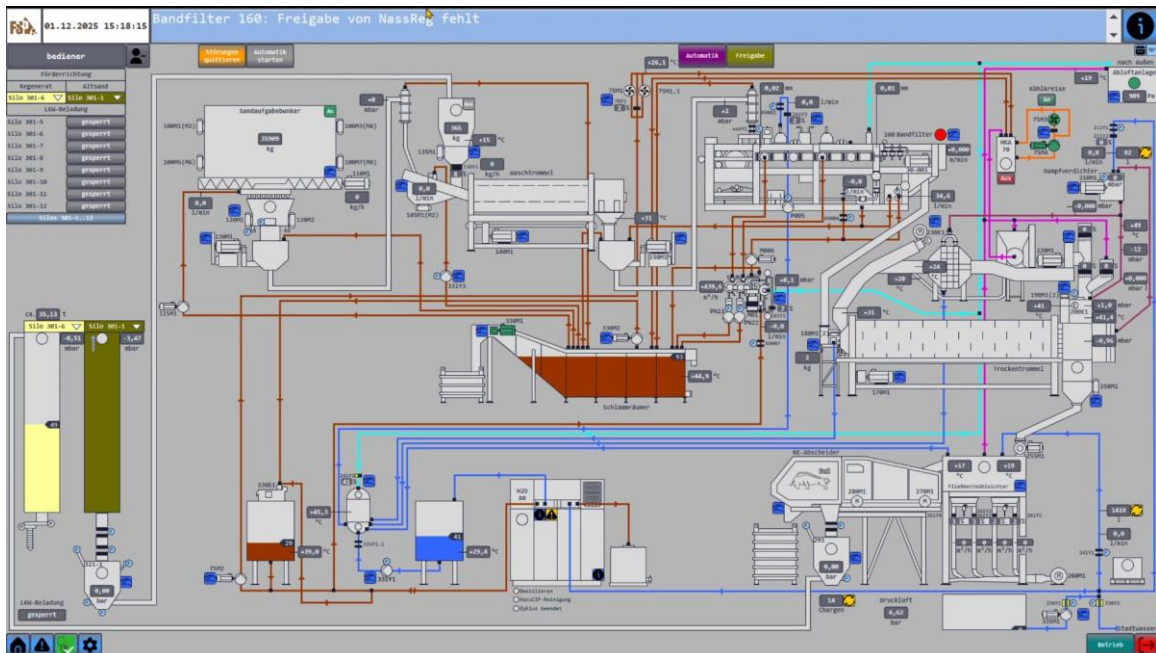
**Abb. 1 Foto von Faro Laserscanner M70**

**Anlagenaufstellung virtuell am 3D-Modell:** Der Laserscanner speichert für jeden einzelnen Pixel die xyz-Koordinaten ab. Dieser virtuell wiedergespiegelte Raum wurde in das 3D-CAD Entwicklungsprogramm SOLIDWORKS importiert. Dort hinein wurden die einzelnen Anlagenkomponenten konstruiert (Abb. 2).



**Abb. 2 SOLIDWORKS Simulation.** Betriebshallenscan mit 3D-Anlagenkomponenten

**Entwicklung des Prozessleitsystems:** Mit der Hilfe der COPA-DATA zenon Industriesoftware wurde die Steuerung der Altsandaufbereitungsanlage entwickelt (Abb. 3).



**Abb. 3 Human Machine Interface (HMI) / Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA).** Grafische Bedienungsfläche für die Steuerung der Gießereisand-Regenerierungsanlage.

**Wareneinkauf:** Nach der Zusammenstellung der notwendigen Komponenten und der Prozessentwicklung wurde eine umfangreiche Teileliste erstellt und die Bestellungen ausgelöst.

### 2.3.2 Montagephase

Die neuartige Anlage zur Gießereisandaufbereitung wurde im Technikum des Antragstellers montiert und ist auf den Fotos in Abb. 4 dargestellt. Dort zu sehen sind die montierten Anlagenkomponenten: Rechts die Aufgabereinheit für den Gießerei-Altsand, hinten das Gerüst, oben mit der Waschtrommel und in der Etage darunter die Trockentrommel. Links unten ist die Waschwasser-Aufbereitungsanlage zu erkennen, die im Destillationsverfahren aufgereinigtes Wasser wieder im Kreislaufverfahren der Gießereisand-Regeneration zuführt.

Zuerst wurde unten der Kühlsichter, der Nichteisen-Metallabscheider und die Vakkumstation des Bandfilters aufgestellt. Anschließend wurde der Stahlbau vorgenommen. Da der Trockner erst mit 3 Monaten Verzögerung geliefert wurde, musste dieser von der Seite, auf extra angefertigten Transportgestellen, in den Stahlbau eingefahren werden. Durch eine Insolvenz des Aufgabebunker-Herstellers konnte dieser auch nur mit Verspätung angeliefert und aufgebaut werden.



**Abb. 4** Fotos der neuartigen Gießereialsand - Aufbereitungsanlage aus zwei verschiedenen Perspektiven.

### 2.3.3. Probeläufe, Messungen, Optimierung

Die kalte Inbetriebnahme fand unmittelbar nach der Montage in der Halle *Am Westkai* statt. Zuerst wurden die einzelnen Komponenten, wie Aufnahmesilo, Förderbänder, Förderschnecken, Waschtrommel, Trockentrommel und Waschwasseraufbereitung einzeln in Betrieb genommen. Nach der störungsfreien Inbetriebnahme der Einzelkomponenten haben wir im Rahmen der warmen Inbetriebnahme mit Wasserglas gebundenen Gießereialsand auf die Anlage gegeben und das Produkt, den Regeneratsand, kontrolliert (Abb. 5).



**Abb. 5** Fotos vom Ausgangsstoff zum Produkt. Links der Sandkern eines Zylinderblocks, in der Mitte der vom Knollenbrecher zerkleinerte Sandkern (Altsand) und rechts der aufbereitete Regeneratsand.

### 2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Es musste eine Genehmigung nach dem Bundes-Immissionsschutz (BImSchG) eingeholt werden. Die entsprechende Genehmigung ist als Anlage 1 beigefügt.

## 2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Die Abb. 3 zeigt die Bedienungsoberfläche mit der schematisch dargestellten Gesamtanlage. Die **Altsandanlieferung wird über eine LKW-Waage** erfasst und die der Altsandaufbereitungsanlage **zugeführte Altsandmenge wird über den verwogenen Aufgabebunker** bestimmt.

Von dort wird der Sand pneumatisch ins Altsandsilo gefördert. Die Daten zur Befüllung des Altsandsilos werden zusammen mit der Uhrzeit in Kilogramm abgespeichert. Der Altsand wird zur Aufbereitung dann in die **Waschtrommel** überführt und die **Leistung der Anlage in kg/h** festgehalten. Die zum Waschen eingesetzte Frischwassermenge, „**Stadtwasser**“ **wird über eine Wasseruhr** verfolgt. Das dem Waschvorgang zugeführte, durch die VACUDEST Anlage mittels Destillation **aufbereitete Waschwasser wird über einen magnetisch-induktiven Durchflusssensor quantifiziert**. Der regenerierte Gießereisand läuft zur Entwässerung über einen Bandfilter in die Trockentrommel. Das dabei aufgefangene Waschwasser enthält Schlamm, der im Schlammcontainer gesammelt wird. Die Menge an **Schlamm wird verwogen [kg]** und **über die Zeit bestimmt [kg/h]**. In der **Trockentrommel fällt Staub [kg]** an, der im Staubfilter kontinuierlich quantifiziert wird und über die Zeit [kg/h] gemessen wird. Die Anlage enthält diverse, z.T. vom Betreiber patentierte Schleifen zum Wärmerecycling. Wärmeverluste werden durch den Propangasbrenner kompensiert. Die verbrauchte Menge an **Propangas wird einerseits durch den Füllstandzähler am Gastank** bestimmt [%, 4.500 Liter  $\triangleq$  70%] und durch einen kalorimetrischen Durchflusssensor [J/°C]. Im Standardbetrieb wird die Anlage über ein mit Hackschnitzeln betriebenes BHKW betrieben. Dazu werden konstant **55 kg/h Hackschnitzel** eingesetzt. Zum Abkühlen, bzw. zur Wärmerückgewinnung, fließt der Regeneratsand über einen Fließbettkühlsichter, und dann weiter durch einen Nichteisen-Abscheider (Wirbelstromscheider), in das Vorratssilo für Regeneratsand. Die Menge an erzeugtem **Regeneratsand wird durch einen Radar-Silofüllstandssensor gemessen [kg, bzw. kg/h]**. Eine weitere Kontrolle über die Menge an erzeugtem Regeneratsand erfolgt über die LKW-Waage. Im Schaltschrank befindet sich ein Stromzähler, der den gesamten Stromverbrauch der Anlage über die Zeit erfasst [kWh]. **Tabelle 3 auf der Seite 10 zeigt die typischen Werte**, die im Laufe einer Betriebsschicht mit der Nasssand-Regenerationsanlage gefahren werden.

## 2.6. Konzeption und Durchführung des Messprogramms

Wir wurden nicht durch das UBA mit einem Messprogramm beauftragt. Unabhängig davon führen wir im eigenen Interesse Messprogramme durch.

Wir bieten die Nasssand-Regeneration als Dienstleistung an. Unser erster fester Kunde ist die Mercedes-Benz Group AG, mit der wir in Form eines Lastenheftes die Qualitätsmerkmale des Regeneratsandes vereinbart haben (Tabelle 1).

Im hauseigenen Sandlabor werden die wesentlichen Qualitätsmerkmale bestimmt, wie z.B. Feinkornanteil, Aktivton und Schlammstoffgehalt, pH-Wert, Restalkalität, elektrische Leitfähigkeit, Glühverlust und Festigkeiten, wie in der folgenden Tabelle dargestellt:

| Qualitätskriterium        | Lastenhaft (Ziel)       | Sandlabor (IST)    | Bewertung |
|---------------------------|-------------------------|--------------------|-----------|
| Restfeuchte / Glühverlust | ≤ 0,1 %                 | 0,11 %             | Erreicht  |
| pH-Wert                   | ≤ 10                    | 9,9                | Erreicht  |
| Elektrische Leitfähigkeit | ≤ 1.100 µS/cm           | 557 µS/cm          | Besser    |
| Säureverbrauch            | 110 mg HCl/100 g        | 104 mg HCl/100 g   | Besser    |
| Biegefestigkeit           | ≤ 350 N/cm <sup>3</sup> | <b>Keine Daten</b> |           |
| Mittlere Korngröße        | H 31 0,37; F 33 0,22    | 0,28 mm            | Erreicht  |
| Reststaubgehalt           | ≤ 1%                    | 0,1 %              | Erreicht  |

**Tabelle 1 Qualitätsanforderungen des Kunden an den Regeneratsand (Lastenheft, Ziel) und die Gegenüberstellung der Ergebnisse (Sandlabor, IST).** Die Mittlere Korngröße orientiert sich am Neusandlieferanten [Quarzwerke Haltern H31](#) und [Quarzwerke Frechen F 33](#). Bestimmt wird die mittlere Korngröße vom Altsand, der Median liegt dort bei 0,29 mm. Der entsprechende Wert beim Regenerat beträgt 0,28 mm. Damit ist die Kornverkleinerung durch den Regenerationsprozess vernachlässigbar.

### 3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

#### 3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung

Das Vorhaben wurde erfolgreich umgesetzt. Es traten eine Reihe von unvorhergesehenen Punkten auf, die aber alle durch Gegenmaßnahmen, bzw. Optimierungen, beseitigt werden konnten. Exemplarisch listen wir hier einige Beispiele auf:

- Der **Fliehkraftabscheider**, „Hydrozyklon“, von der Firma *Steinle Industripumpe GmbH* bereitete uns einige Herausforderungen. Dieser verstopfte immer wieder in Abhängigkeit von der Altsand-Mengen Zufuhr und der Altsand-Knollengröße (**Pfropfenbildung**). Einerseits musste die **Unterlaufdüse**, „Apex-Düse“, welche die trichterförmige Öffnung an der untersten Spitze des Gerätes bildet, in mehreren Versuchsreihen in der Größe **angepasst** werden.
- Entgegen unseren Erwartungen befanden sich **größere Mengen an Grafit im Altsand**. Das führte zu einer starken Verunreinigung des Waschwassers. Als Gegenmaßnahme setzten wir **zusätzlicher Filter** vor den Schmutzwassertank und **erhöhten die Frischwassermenge** von 10 l/min auf 12 l/min.
- Nachdem der Regeneratsand aus der Waschtrommel kommt, wird er zu einer ersten mechanischen Entwässerung über einen **Bandfilter** geführt. Dieser **setzte sich häufig zu**. Als Gegenmaßnahme wurde ein **Bandfilter mit weiteren Poren eingesetzt**.
- Entgegen unseren Erwartungen lieferte unser Hauptkunde *Mercedes Gießereialtsand* mit **Verunreinigungen, wie Müll**, Schrauben oder mit organischem Binder kontaminierter Altsand aus dem Cold-Box-Verfahren an. Dadurch wurde wiederholt

die **Transportschnecke blockiert**. Wir konnten erfolgreich darauf hinwirken, dass unser **Kunde auf eine bessere Trennung achtet**.

- Unser Fokus bei der Entwicklung der neuartigen Gießerei-Nasssand-Aufbereitungsanlage lag auf der Energieeffizienz, basierend auf thermischer Energierückgewinnung. Neu zugeführte Energie wird ausschließlich aus regenerativen Energieträgern gewonnen. Hier kommt ein **mit Holzhackschnitzeln betriebenes Blockheizkraftwerk** zum Einsatz. Leider ging dieses oft auf **Störung durch verschmutzte Sensoren oder Kondenswasser im Ascheustrag**. Um dies zu vermeiden lassen wir das BHKW auch bei Stillstandszeiten der Nasssandaufbereitung durchlaufen und speisen den überschüssigen Strom ins Netz.
- Zu den unerwartet **erfreulichen Beobachtungen** gehört, dass **50 % weniger Schmutzwasser** für den Vakuumverdampfer anfällt, weil der Regeneratsand-Trocknungsprozess selbst bereits eine Destillation darstellt.

### 3.2. Stoff- und Energiebilanz

In den Antragsunterlagen, Anlage A, Seite 6/7<sup>1</sup>, haben wir zum Stand der Technik, was die Gießerei-Altsandaufbereitung betrifft, die thermisch-mechanische Aufbereitung bei BMW in Landshut zum Vergleich herangezogen. Ein externer Gutachter hatte im Rahmen eines umfangreichen Energie-Audits den genannten Stand der Technik mit der Pilotanlage unserer Nasssandregeneration verglichen (Antrag, Anlage A 5.1)<sup>2</sup>. Der **Stand der Technik** ist in der Tabelle 2 der **Zielsetzung** und dem **Ergebnis der innovativen Nasssand-Regeneration** gegenübergestellt. Die Ergebnisse basieren auf den Rohdaten, dargestellt in Tabelle 3.

| Parameter                | Stand der Technik<br>therm.-mech. Regen.<br>BMW, Landshut<br>Mercedes, Mettingen | Innovation<br>Nasssandregeneration<br><b>Zielsetzung</b> <sup>1</sup><br>(Pilotanlage Köln) <sup>2</sup> | Innovation<br>Nasssandregeneration<br><b>Ergebnis</b> |
|--------------------------|--|--|---|
| Strombedarf<br>[kWh/t]   | 41   | 31 <sup>1</sup> (56) <sup>2</sup>  | 31  |
| Gasverbrauch<br>[kWh/t]  | 375  | 77 <sup>1</sup> (49) <sup>2</sup>  | 55 <sup>3</sup>                                       |
| Gesamtenergie<br>[kWh/t] | 416  | 108 <sup>1</sup> (105) <sup>2</sup>  | 86  |
| Neusandersatz            | 50 %   | 4 %  | 5 - 10 %  |

**Tabelle 2 Gegenüberstellung des Energiebedarfs zur Aufbereitung einer Tonne Gießerei-Altsand gemäß dem Stand der Technik, der Zielsetzung unserer innovativen Nasssandregeneration und dem Projektergebnis.** <sup>1</sup> Zielsetzung gemäß unserem Förderantrag, <sup>2</sup> Erfahrungswert der Pilotanlage in Köln und <sup>3</sup> globaler mengengewichteter Mittelwert (Gesamtgas/Gesamttonnen) des spezifischen Gasverbrauchs [kWh/t], der kleiner ist als der arithmetische Mittelwert von 60,19 kWh/t in Tabelle 3, jedoch technisch korrekter hier anzuwenden ist.

Bei dem gezeigten, repräsentativen Nasssand-Regenerationsdurchlauf zeigte der Stromzähler einen Gesamtverbrauch von 388 kWh. In dieser Zeit wurden dem Aufgabebunker 13.320 kg Altsand entnommen (Tabelle 3, unterste Zeile). Folglich beträgt der spezifische Strom-

verbrauch 31 kWh/t Altsand (Tabelle 2, letzte Säule). Das entspricht dem im Projektantrag angestrebten Wert (Tabelle 2<sup>1</sup>). Damit ist die **elektrische Effizienz pro Tonne aufbereitetem Altsand, besser als im Antrag angestrebt**.

Der Gaszähler zeigt einen Gesamtverbrauch für den Durchgang von 57,70 kg Propangas an (Tabelle 3, unterste Zeile). Dieses hat einen Heizwert von 12,8 kWh/kg, d.h., 738,56 kWh wurden für die Aufbereitung von 13.320 kg Altsand aufgewendet. Daraus resultieren ein spezifischer Gasverbrauch von 55 kWh/t Altsand. Auch was den **Gasverbrauch pro Tonne aufbereitetem Altsand** betrifft, **wurde die angestrebte Energieeffizienz erreicht**.

**Der Gesamtenergiebedarf zur Regeneration von Gießereialtsand wurde mit der neuen Anlage um 80 % gesenkt** (siehe Tabelle 2).

Betrachten wir bei unserem Nasssand-Aufbereitungsverfahren die **Ausbeute an Regeneratsand**, so beobachten wir im Vergleich zum eingangs in der Gießerei eingesetzten Neusand, dass der **Verlust bei 5 – 10 %** liegt (Tabelle 2, rechts unten). Gießereien schießen Sandkernen, welche den Platz für spätere Hohlräume im Metallguss einnehmen. Dabei führt die hohe Strömungsgeschwindigkeit zu einem aneinander und gegen die Werkzeugwand Reiben der Sandkörner. Dieser mechanische **Abrieb** zerstört die Kornstruktur und erhöht den Anteil an nicht regenerierbarem Feinmaterial. Beim ersten Schritt zur Regeneration, dem **Knollenbrechen**, sowie der **pneumatischen Förderung** des Altsandes, kommt es ebenfalls zu einem Feinabrieb, der nicht regeneriert werden kann. Unser Nasssand-Regenerationsverfahren isoliert betrachtet ist das schonendste Verfahren auf dem Markt. Die damit verbundene Ausbeute von 90 % – 95 % an Regeneratsand hängt zu einem wesentlichen Teil folglich vom **Feinstaubgehalt des Altsandes**, der **Binderkonzentration** und sonstiger Verunreinigungen, wie **Metallrückständen** ab. Und diese Parameter variieren in Abhängigkeit von der Gießerei und der Altsandcharge.

| Uhrzeit     | Aufgabe-<br>bunker<br>[kg] | Regenerat-<br>silo [t] | Strom-<br>zähler<br>[kWh] | Gaszähler<br>Propan<br>[kg] | Sender-<br>schüsse<br>(ca. 200<br>kg) | Zeit<br>[Sek.] | Durchsatz<br>Aufgabe-<br>bunker<br>[kg] | Durchsatz<br>Regenerat<br>[kg] | Strom-<br>verbrauch<br>[kWh] | Gas-<br>verbrauch<br>[kg] | Spez.<br>Stromverbr.<br>[kWh/t] | Spez.<br>Gasverbr.<br>[kWh/t] | Sand-<br>durchsatz<br>[kg/h] |
|-------------|----------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|---|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 11:02       | 32.672                     |                        | 75                        | 11,40                       | 0                                     |                |   |                                |                              |                           |                                 |                               |                              |
| 11:45       | 30.595                     | 33,15                  | 123                       | 19,00                       | 6                                     | 2.580          | 2.077                                   |                                | 48                           | 7,60                      |                                 | 23                            | 2.898                        |
| 12:20       | 29.624                     | 34,51                  | 162                       | 25,20                       | 12                                    | 2.100          | 971                                     | 1.360                          | 39                           | 6,20                      |                                 | 40                            | 1.665                        |
| 13:33       | 28.097                     | 35,38                  | 231                       | 37,90                       | 16                                    | 4.380          | 1.527                                   | 870                            | 69                           | 12,70                     |                                 | 45                            | 1.255                        |
| 14:05       | 26.393                     | 37,43                  | 272                       | 44,20                       | 23                                    | 1.920          | 1.704                                   | 2.050                          | 41                           | 6,30                      |                                 | 24                            | 3.195                        |
| 15:23       | 22.516                     | 40,43                  | 374                       | 57,35                       | 38                                    | 4.680          | 3.877                                   | 3.000                          | 102                          | 13,15                     |                                 | 26                            | 2.982                        |
| 16:00       | 20.995                     | 41,1                   | 422                       | 63,80                       | 44                                    | 2.220          | 1.521                                   | 670                            | 48                           | 6,45                      |                                 | 32                            | 2.466                        |
| 16:31       | 19.352                     | 42,08                  | 463                       | 69,10                       | 50                                    | 1.860          | 1.643                                   | 980                            | 41                           | 5,30                      |                                 | 25                            | 3.180                        |
| <b>5,50</b> | <b>13.320</b>              | <b>8,93</b>            | <b>388</b>                | <b>57,70</b>                | <b>10.000</b>                         |                | <b>13.320</b>                           | <b>8.930</b>                   | <b>388</b>                   | <b>57,70</b>              |                                 | <b>31</b>                     | <b>2.520</b>                 |

Tabelle 3 Messergebnisse der Nassandaufbereitung zur Ermittlung des Energieverbrauchs

### 3.3. Umweltbilanz

#### 3.3.1. CO<sub>2</sub>-Einsparung durch die neuartige Nasssand-Regeneration

Betrachten wir zuerst die **Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emission**, welche sich aus dem Vergleich der neuen innovativen Nasssand-Regenerationsanlage mit der gemäß dem Stand der Technik betriebenen mech.-therm. Gießereisand-Aufbereitung ergibt:

Legen wir für den Strominlandsverbrauch in 2020 einen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor von 0,38 kg/kWh zugrunde<sup>1</sup> und gehen wir davon aus, dass bei der Verbrennung von Erdgas 0,2 kg/kWh CO<sub>2</sub> und bei Propangas 0,215 kg/kWh CO<sub>2</sub> entstehen, dann resultieren daraus die in Tabelle 4 aufgeführten CO<sub>2</sub>-Emissionswerte.

| CO <sub>2</sub> Quelle          | Stand der Technik<br>therm.-mech. Regen.<br>BMW, Landshut<br>Mercedes, Mettingen | Innovation<br>Nasssandregeneration<br><b>Zielsetzung</b> <sup>1</sup><br>(Pilotanlage Köln) <sup>2</sup> | Innovation<br>Nasssandregeneration<br><b>Ergebnis</b> |
|---------------------------------|--|--|---|
| <b>Strom</b><br>[kg/t Altsand]  | 15,2   | 12 <sup>1</sup> (20,5) <sup>2</sup>  | 12  |
| <b>Gas</b><br>[kg/t Altsand]    | 75   | 15 <sup>1</sup> (13,1) <sup>2</sup>  | 12  |
| <b>Gesamt</b><br>[kg/t Altsand] | <b>90</b>  | <b>27<sup>1</sup> (33,6)<sup>2</sup></b>   | <b>24</b>   |

**Tabelle 4 Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emission zwischen thermisch-mechanischer Gießereisandaufbereitung und Nassandaufbereitung**

Aus der Gegenüberstellung der alten Ausgangssituation (therm.-mech. Gießereisand-Regeneration; 90 kg/t CO<sub>2</sub>) mit der neuen Anlage (Nasssand-Regeneration, 24 kg/t CO<sub>2</sub>), zeigt sich, dass **66 kg CO<sub>2</sub> pro Tonne aufbereitetem Gießereisand eingespart wird**.

Insgesamt benötigt unser Kunde, die Mercedes-Benz AG, durchschnittlich 16.500 t/Jahr Gießereisand am Standort Mettingen. Stellt man nun die beiden genannten Gießereisand-Aufbereitungsverfahren gegenüber, so resultiert daraus eine **CO<sub>2</sub>-Einsparung von 1,089 Mio. kg/Jahr durch diese Verfahrensänderung** (Tabelle 5).

|   | Stand der Technik<br>therm.-mech. Regen.<br>BMW, Landshut<br>Mercedes, Mettingen | Innovation<br>Nasssandregeneration<br><b>Zielsetzung</b> | Innovation<br>Nasssandregeneration<br><b>Ergebnis</b> |
|---|--|--|---|
| <b>CO<sub>2</sub> Emission</b><br>16.500 t Alts./Jahr | 1,485 Mio. kg  | 0,45 Mio. kg   | 0,4 Mio. kg   |

**Tabelle 5 Verfahrenstechnische Einsparung an CO<sub>2</sub>-Emission durch die Substitution der thermisch-mechanischen Gießereisandaufbereitung durch die Nassandaufbereitung am Standort Mettingen bei einem Aufbereitungsvolumen von 16.500 t Altsand pro Jahr.**

<sup>1</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/strom-waermeversorgung-in-zahlen#Strommix>

Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß wird durch unser neues innovative Regenerationsverfahren um 1,1 Mio. kg/Jahr gesenkt (Tabelle 5).

### 3.3.2. Einsparung von Transport-bedingter CO<sub>2</sub>-Emission (Regenerat-Sand statt Neusand)

Die Zuführung des Neusands und die Entsorgung des Altsands erfolgt durch LKWs. Die Mercedes-Benz Group AG benötigt am Standort Mettingen zurzeit mindestens **16.500 t Gießereisand/Jahr**. Nach der **thermisch-mechanischen Regeneration wurden 50% des Altsands durch Neusand ersetzt**. Dank der **innovativen Nasssand-Regeneration müssen nur noch 5 % des Altsands ersetzt** werden. Da an den Gießereisand hohe Ansprüche gestellt werden, wird dieser von den Quarzwerken Frechen bezogen. 30 % Neusand kommen aus Frechen und 70 % aus Haltern. Mit der Bahn wird der Sand nach Esslingen zur Gießerei transportiert. Daraus folgt, in der Vergangenheit bedurfte es 50% Neusand (8250 t). Davon mussten 2.475 t Neusand<sup>1</sup> über 380 km ( $\cong$  30% aus Frechen)<sup>1</sup> und 5.775 t über 480 km ( $\cong$  70% aus Haltern)<sup>2</sup> transportiert werden. Der Neusand wird auf LKWs umgeladen und in das 5 km entfernte Werk überführt. Die 50 % nicht zu regenerierender Altsand werden auf eine 72 km entfernte Deponie gefahren<sup>4</sup> (Tabelle 6).

| Transportmittel    | Sand [t]           | Strecke [km] | CO <sub>2</sub> Freisetzung [g/(t*km)] | CO <sub>2</sub> Freisetzung [t] |
|--------------------|--------------------|--------------|--|---------------------------------|
| <b>Bahn</b>        | 2.475 <sup>1</sup> | 380          | 17                                     | 15,989                          |
|                    | 5.775 <sup>2</sup> | 480          | 17                                     | 47,124                          |
| <b>LKW</b>         | 8.250 <sup>3</sup> | 5            | 111                                    | 4,579                           |
|                    | 8.250 <sup>4</sup> | 72           | 111                                    | 65,934                          |
| <b>Gesamt/Jahr</b> |                    |              |  | <b>133,625</b>                  |

Tabelle 6 CO<sub>2</sub> Freisetzung beim Gießereisand-Transport bisher bei mech.-therm. Regeneration.

**Pro Jahr wurden durch den hohen Neusand-Verbrauch beim alten Verfahren 133,625 t CO<sub>2</sub> freigesetzt.**

Mit dem neuen **Nasssand-Verfahren** müssen nach der Regeneration nur 5 % des Altsandes durch Neusand ersetzt werden. Bei einem Gießereisand-Bedarf von 16.500 t Sand müssen nach der Regeneration **nur 825 t Neusand/Jahr zugekauft** werden Tabelle 7.

| Transportmittel    | Sand [t]         | Strecke [km] | CO <sub>2</sub> Freisetzung [g/(t*km)] | CO <sub>2</sub> Freisetzung [t] |
|--------------------|------------------|--------------|--|---------------------------------|
| <b>Bahn</b>        | 248 <sup>1</sup> | 380          | 17                                     | 1,599                           |
|                    | 578 <sup>2</sup> | 480          | 17                                     | 4,712                           |
| <b>LKW</b>         | 825 <sup>3</sup> | 5            | 111                                    | 0,458                           |
|                    | 825 <sup>4</sup> | 72           | 111                                    | 6,593                           |
| <b>Gesamt/Jahr</b> |                  |              |  | <b>13,363</b>                   |

**Tabelle 7 CO<sub>2</sub> Freisetzung beim Gießereisand-Transport aktuell mit der Nasssand-Regeneration.** Grundlage dieser Kalkulation sind 5 % Sand-Verlust nach unserem neuen Regenerationsverfahren. Müssen bis zu 10 % Gießereisand ersetzt werden, so entstehen beim Transport bis zu 26.726 t CO<sub>2</sub>.

Zur Regeneration des Altsandes muss dieser von der Gießerei zum FSP-Betriebsgelände und anschließend als Regeneratsand zurück zur Gießerei gefahren werden (Tabelle 8).

| Transportmittel    | Sand [t] | Strecke [km] | CO <sub>2</sub> Freisetzung [g/(t*km)] | CO <sub>2</sub> Freisetzung [t] |
|--------------------|----------|--------------|--|---------------------------------|
| LKW                | 16.500   | 3,7          | 111                                    | 6,78                            |
|                    | 16.500   | 3,7          | 111                                    | 6,78                            |
| <b>Gesamt/Jahr</b> |          |              |  | <b>13,56</b>                    |

**Tabelle 8 CO<sub>2</sub>-Emission, verursacht durch den Altsandtransport zur Aufbereitungsanlage und den Rücktransport von Regenerat zur Gießerei.**

Aufgrund des höheren Regeneratanteils und des niedrigeren Neusandanteils muss durch die **innovative Nasssandregeneration** deutlich weniger Gießereisand transportiert werden. Die Folge ist, dass durch das **verminderte Transportgeschehen nur 13,367 t und max. 26,730 t CO<sub>2</sub> pro Jahr entstehen.**

Im Rahmen des Stands der Technik wurden 133,6 t an CO<sub>2</sub> durch das Transportgeschehen freigesetzt. Im Rahmen der neuen innovativen Technik werden nur noch rund 13,4 t plus 13,6 t, also insgesamt 27 t an CO<sub>2</sub> freigesetzt. Daraus folgt, in der Gesamtheit betrachtet, eine **Einsparung von 106,7 t CO<sub>2</sub> pro Jahr im Transportbereich.** Addiert man zu dieser Einsparung im Transportbereich die CO<sub>2</sub>-Einsparung durch die innovative Regenerationstechnik in Höhe von 1.089 t, so ergibt sich daraus **unmittelbar mit dem Markteintritt insgesamt eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von 1.196 t CO<sub>2</sub> pro Jahr.**

### 3.3.3. Ressourcenschutz (Regenerat-Sand statt Neusand)

Hochwertiger Quarzsand ist eine zentrale Schlüsselressource der Industrie: Er bildet nicht nur die Basis für Form- und Kernsande in Gießereien, sondern wird ebenso in der Bauchemie, im Glasbereich und in zahlreichen Spezialanwendungen benötigt. Gleichzeitig gehört Sand weltweit zu den Rohstoffen, deren lokale Vorkommen zunehmend unter Druck stehen. Jeder Kubikmeter Sand, der im Kreislauf geführt wird, entlastet nicht nur die Lagerstätten, sondern reduziert auch Flächenverbrauch, Eingriffe in Ökosysteme und die Emissionen entlang der Transportkette. Gerade in der Gießereiindustrie fallen große Mengen an Altsand an, die bislang häufig als Abfall deponiert oder in minderwertigen Anwendungen downgecycelt wurden.

Gehen wir aktuell, lokal am Standort der neuen Anlage, von einem Quarzsand-Bedarf von 16.500 t/a, so war **bei der alten Technik ein Neusand-Bedarf von 8.250 t und 8.250 t/a Altsand mussten deponiert werden.** Mit der neuen Anlage wurde die Kreislaufwirtschaft effizient gestärkt. **Dank der innovativen Anlage müssen nur noch 5 % bis 10 % des Gießereisands ersetzt werden; im vorliegenden Fall sind dies max. 1.650 t/a.**

### 3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse

#### 3.4.1. Investitionsvolumen und Finanzierung

**Gesamtinvestitionskosten:** €3.527.935

Die Finanzierung erfolgt über ein kombiniertes Modell:

- **KfW-Förderung (UIP):** €1.058.380
- **Darlehen:** €2.469.000
  - Laufzeit: 7 Jahre
  - Zinssatz: 5,0% p.a.
  - Annuität (Tilgung + Zinsen): **€88.837** (2025, Anlauf) und **€471.420** p.a. in den Jahren 2026–2031.

Diese Finanzierungsstruktur zeigt eine starke Unterstützung durch das Umweltinnovationsprogramm, die rund 26 % der Gesamtinvestition abdeckt. Das hat uns ermöglicht, die Mehrkosten für ein neues, besonders CO<sub>2</sub>-einsparendes Regenerationsverfahren für Gießereisande zu tragen.

#### 3.4.2. Amortisationszeit

Einfache Amortisation (Payback Period):

Die kumulierten Gewinne vor Steuern entwickeln sich wie folgt:

| <b>Jahr</b> | <b>Gewinn/Verlust vor Steuern (€/a)</b> | <b>Kumuliert (€/a)</b> |
|-------------|---|------------------------|
| 2025        | -208.841                                | -208.841               |
| 2026        | -548.996                                | -757.837               |
| 2027        | 143.416                                 | -614.421               |
| 2028        | 158.787                                 | -455.634               |
| 2029        | 174.542                                 | -281.092               |
| 2030        | 190.691                                 | -90.401                |
| 2031        | 246.577                                 | <b>+156.176</b>        |

**Tabelle 9 Wirtschaftlichkeitsanalyse: Amortisierung der Investitionen unter der Berücksichtigung des Gewinns vor Steuern**

Der Break-even wird somit im Jahr 2031 erreicht, also nach etwa 6–7 Jahren Vollbetrieb (ab 2026). Dies ist für eine industrielle Nass-Regenerationsanlage ein noch akzeptabler Zeitraum; die operative Ergebnislage ist bereits ab 2027 positiv.

Wir gehen davon aus, dass der Kredit bis 2031 zurückgezahlt ist:

| Betriebsjahr | Tilgung    | Sollzinsen  | Restschuld    |
|--------------|------------|-------------|---------------|
| Auszahlung   |            |             | -2.469.000,00 |
| <b>2025</b>  | 58.156,81  | -30.680,12  | -2.410.843,19 |
| <b>2026</b>  | 359.261,67 | -112.158,33 | -2.051.581,52 |
| <b>2027</b>  | 377.604,56 | -93.815,44  | -1.673.976,96 |
| <b>2028</b>  | 396.884,01 | -74.535,99  | -1.277.092,95 |
| <b>2029</b>  | 417.147,79 | -54.272,21  | -859.945,16   |
| <b>2030</b>  | 438.446,22 | -32.973,78  | -421.498,94   |
| <b>2031</b>  | 421.498,94 | -10.588,15  | 0,00          |

Tabelle 10 Tilgungsverlauf des Investitionskredites

### 3.4.3. Rentabilität und Profitabilität

#### 3.4.3.1. EBIT und EBIT-Marge

Die operative Rentabilität entwickelt sich positiv:

| Jahr | Umsatz (€/a) | EBIT (Ertrag I, €/a) | EBIT-Marge (%) |
|------|--------------|----------------------|----------------|
| 2025 | 84.228       | -208.841             | -247,9         |
| 2026 | 1.438.895    | -548.996             | -38,2          |
| 2027 | 2.433.531    | 143.416              | 5,9            |
| 2028 | 2.494.369    | 158.787              | 6,4            |
| 2029 | 2.556.729    | 174.542              | 6,8            |
| 2030 | 2.620.647    | 190.691              | 7,3            |
| 2031 | 2.686.163    | 246.577              | 9,2            |

Tabelle 11 EBIT und Marge

Die EBIT-Marge wächst kontinuierlich und springt nach Auslaufen wesentlicher Darlehensbelastungen und Fixkostendegression ab 2032 in den Bereich von 25–28%.

#### 3.4.3.2 Rendite auf eingesetztes Kapital (ROI)

Der **Return on Investment (ROI)** kann näherungsweise ermittelt werden:

- **Durchschnittlicher jährlicher EBIT 2027–2035 liegt grob bei ~450.000–500.000 €/a**, stark steigend in den späteren Jahren.
- Eingesetztes verzinsliches Kapital (Darlehen): **€2.469.000**; durch KfW-Förderung reduziert sich das wirtschaftlich zu tragende Eigen-/Fremdkapitalrisiko.

Für eine grobe statische Betrachtung, nur auf das Darlehen bezogen, ergibt sich über die Projektlaufzeit eine effektive Renditegröße im Bereich von **rund 10% p.a.**, wobei der

wesentliche Renditeschub in der Phase nach 2031 entsteht (hoher EBIT bei schuldenarmer Struktur).

### 3.4.4. Umsatz und Kostenstruktur

#### 3.4.4.1 Mengen und Umsatzentwicklung

##### **Durchsatzmengen (Altsand-Input):**

- 2025 (Q4 nur): 600 t/a
- 2026: 10.000 t/a
- 2027-2033: 16.500 t/a
- 2034–2035: 17.500 t/a

##### **Angebotspreis und Umsatz:**

| Jahr | Preis pro Tonne (€/t) | Umsatz (€/a) |
|------|-----------------------|--------------|
| 2025 | 140,38                | 84.228       |
| 2026 | 143,89                | 1.438.895    |
| 2027 | 147,49                | 2.433.531    |
| 2028 | 151,17                | 2.494.369    |
| 2029 | 154,95                | 2.556.729    |
| 2030 | 158,83                | 2.620.647    |
| 2031 | 162,80                | 2.686.163    |
| 2032 | 166,87                | 2.753.317    |
| 2033 | 171,04                | 2.822.150    |
| 2034 | 175,32                | 3.068.019    |
| 2035 | 179,70                | 3.144.720    |

**Tabelle 12 Umsatzplanung in Abhängigkeit von der Preisentwicklung der Altsandregenerierung.**

Der Preis steigt jährlich um 2,5% (inflationsgerecht), die wesentlichen Kostenblöcke sind ebenfalls mit 2,5% p.a. indexiert.

#### 3.4.4.2 Kostenaufschlüsselung (Beispiel 2026)

| Kostenposition                        | Kosten (€/a) | Anteil am Umsatz |
|---------------------------------------|--------------|------------------|
| Betriebskosten Nass-Regeneration      | 541.912      | ca. 37,7%        |
| Allgemeinkosten (Miete, EDV, etc.)    | 153.306      | ca. 10,7%        |
| Personal Produktion                   | 637.183      | ca. 44,3%        |
| Personal Abwicklung/Non-Productiv     | 184.070      | ca. 12,8%        |
| Invest-Kosten (Abschr. + Zinsen, GuV) | 173.883      | ca. 12,1%        |
| Summierte operative Kosten (GuV)      | 1.690.354    | ca. 117,5%       |

**Tabelle 13 Kostenaufschlüsselung.** Bezogen auf die Liquiditätsrechnung (mit Tilgung + Zinsen ≈ 471.420 €) liegen die Gesamtkosten 2026 bei rund 1,99 Mio. € bzw. 199 €/t und damit leicht über dem Umsatz, weshalb noch ein negativer Ertrag resultiert.

### 3.4.5. Liquiditätsperspektive

Aus der Liquiditätsrechnung (Invest + Betrieb) ergeben sich für 2025–2031 folgende Größenordnungen:

| Jahr | Gesamtkosten (inkl. Tilgung/Zins) (€/a) | Umsatz (€/a) | Jahres-Cashflow (€/a) |
|------|---|--------------|-----------------------|
| 2025 | 293.069                                 | 84.228       | -208.841              |
| 2026 | 1.987.891                               | 1.438.895    | -548.996              |
| 2027 | 2.290.115                               | 2.433.531    | +143.416              |
| 2028 | 2.335.582                               | 2.494.369    | +158.787              |
| 2029 | 2.382.186                               | 2.556.729    | +174.542              |
| 2030 | 2.429.956                               | 2.620.647    | +190.691              |
| 2031 | 2.439.586                               | 2.686.163    | +246.577              |

**Tabelle 14 Liquiditätsanalyse: Cashflow-Analyse**

Der kumulierte Cashflow wird durch die positiven Ergebnisse ab 2027 progressiv verbessert und ist nach Modellannahmen ab etwa 2031/2032 positiv, also nach vollständiger Bedienung des Darlehensblocks.

### 3.4.6. Wirtschaftliche Vorteile gegenüber konventioneller Technik

Die Rentabilitätskalkulation vergleicht die Nass-Regenerierung mit konventionellen Entsorgungsalternativen.

#### 3.4.6.1 Kostenvergleich pro Tonne

Gehen wir für das **Jahr 2027** von **16.500 t Bedarf an Gießereisand** aus, um die mech.-therm. Aufbereitung der Nasssandgeneration gegenüberzustellen:

| Position                     | Einzelposition Kosten (€/t) | Nasssand-Regeneration Kostenfaktoren                                   | Kostenanteil €/t final |
|------------------------------|-----------------------------|--|------------------------|
| <b>Regenerat (FSP)</b>       | 131                         | Regenerat 90%  | 117,9                  |
| <b>Neusand</b>               | 63                          | Hochwertiger Gießereisand (Frechen/Haltern)<br>Nehme 63 €/t, davon 10% | 6,3                    |
| <b>Ferntransport (Bahn)</b>  | 34                          | 380–480 km, 100 kg<br>10% Neusand                                      | 3,4                    |
| <b>Deponie Altsand (10%)</b> | 96                          | Deponie + Transport (72 km)  | 9,6                    |
| <b>Gesamt pro t Bedarf</b>   |                             | Kosten für Mercedes am Gießereistandort                                | <b>137,2</b>           |

**Tabelle 15 Kostenzusammensetzung für eine Tonne Nasssand-Regenerat aus Sicht des Kunden Mercedes.** In der Berechnung wird vom ungünstigsten Fall ausgegangen, dass nicht nur 5 % sondern 10 % des Altsandes nach der Regenerierung durch Neusand ersetzt werden müssen.

| Position                         | Einzelposten<br>Kosten (€/t) | Mech. therm. Regeneration von<br><i>Mercedes</i>            | Kostenanteil<br>€/t final |
|----------------------------------|------------------------------|---|---------------------------|
| <b>Regenerat<br/>(Mercedes)</b>  | 100                          | Mech. therm. Aufbereitung (50% Verlust)                     | 50                        |
| <b>Neusand</b>                   | 63                           | Hochwertiger Gießereisand<br>(Frechen/Haltern), 50 % Ersatz | 31,5                      |
| <b>Ferntransport<br/>(Bahn)</b>  | 34                           | 380–480 km, 100 kg<br>50% Neusand                           | 17                        |
| <b>Deponie Altsand<br/>(50%)</b> | 96                           | Deponie + Transport (72 km)                                 | 48                        |
| <b>Gesamt pro t<br/>Bedarf</b>   |                              | Kosten für <i>Mercedes</i> am Gießereistandort              | <b>146,5</b>              |

**Tabelle 16** Kostenzusammensetzung von einer Tonne Gießereisand unter Verwendung von mech.-therm.-Regenerat aus Sicht des Kunden *Mercedes*.

Aus der Sicht des Kunden *Mercedes* ergibt sich ein **wirtschaftlicher Vorteil beim Bezug des Nassandregenerats von 9,3 €/t**. *Mercedes* hat aber mit langen Stillstandszeiten bei deren mech.-therm. Anlage zu kämpfen, was das Unternehmen bewegt hat, uns den Zuschlag für die Altsandregeneration zu geben. Hinzu kommt, dass bei den Kosten, welche *Mercedes* in der Vergangenheit entstanden und hier übernommen wurde, keine Aufwendungen für Abschreibung und Reparaturen berücksichtigt wurden.

### 3.4.6.2 Wertschöpfungsanteile durch Regenerat-Verkauf

Ein wesentlicher wirtschaftlicher Vorteil liegt darin, dass das Regenerat als Verkaufsprodukt fungiert:

- **Umsatzerlöse aus Regenerat-Verkauf 2026: 1,44 Mio. €**, steigend auf über **3,1 Mio. €** in 2035.
- **Größe des Regenerat-Marktes lokal:** Die MERCEDES-Gießerei selbst ist ein Großabnehmer; weitere lokale Gießereien bieten Marktpotenziale.
- **Regenerat-Qualität:** Hochwertig gereinigter Sand mit stabilen Bindereigenschaften ist als Rohstoff für Formereien wertvoll, ersetzt Zukäufe und schützt damit die Ressource Primärsand.

Die Anlage ist damit keine reine Entsorgungsanlage, sondern ein Wertschöpfungsmodul im Sinne der Kreislaufwirtschaft.

### 3.4.6.3 Weitere ökologisch-ökonomische Vorteile

- **Einsparung von Deponiegebühren und Transporten von Alt- und Staubsanden;** laut Kalkulation liegen Entsorgungs-/Deponiekosten für Staub bei ca. 50 €/t (42 € Deponie + 8 €/t Transport).
- **Wasserglasbinder wird zurückgewonnen:** Der aus dem Altsand extrahierte Wasserglasbinder kann partiell wiederverwendet werden (nicht direkt im Modell, aber ein zusätzlicher Verwertungsvorteil)
- **Kreislaufwirtschaft:** Reduktion von Deponieeinträgen und sekundärer Rohstoffbedarf
- **Bessere Positionierung im Rahmen von CSR/CSRD-Berichterstattung** (Kreislaufwirtschaft, CO<sub>2</sub>-Reduktion).

### 3.4.7. Sensitivitätsanalyse und Wirtschaftspotenziale

#### 3.4.7.1. Auswirkung von Mengenänderungen

Die Kalkulation zeigt klar: die Wirtschaftlichkeit ist stark volumenabhängig. Bei Volllauslastung ( $\geq 16.500$  t/a) liegen Kosten/t deutlich unter dem Angebotspreis; bei geringeren Mengen steigt €/t durch Fixkostenbelastung.

Eine Reduktion der Jahresmenge um 20% würde den EBIT der frühen Vollbetriebsjahre in Richtung Break-even drücken; umgekehrt erhöht +20% Menge den EBIT deutlich (Größenordnung +100–150 T€/a).

| Szenario                    | Durchsatz (t/a) | EBIT 2027 (€) | Amortisationszeit (5% Wachstum) |
|-----------------------------|-----------------|---------------|---------------------------------|
| <b>Pessimistisch (-20%)</b> | 13.200          | -225.483      | >12 Jahre                       |
| <b>Plan</b>                 | 16.500          | +143.470      | <b>16 Jahre</b>                 |
| <b>Optimistisch (+20%)</b>  | 19.800          | +527.940      | <b>6 Jahre</b>                  |

**Tabelle 17 Wirtschaftlichkeitsanalyse - Mengenabhängigkeit.** Beispieljahr 2027, Förderung berücksichtigt, Wachstumsvariante: EBIT steigt um 5 % durch Preisanpassung und Effizienzgewinne

**Schlussfolgerung:** Mit KfW-Förderung verbessert sich die Wirtschaftlichkeit deutlich. Im Plan-Szenario (~16 Jahre mit Wachstum) ist die Anlage langfristig rentabel, im Optimismus-Szenario sehr attraktiv (~6 Jahre). Pessimistisch bleibt sie herausfordernd.

#### 3.4.7.2 Preissensitivität

- Die Anlage benötigt eine **Mindestverwertungsgebühr** im Bereich des kalkulierten Angebotspreises (140–150 €/t initial), um Deckungsbeiträge zu erwirtschaften.
- Eine dauerhafte Preisreduktion von z.B. 5% würde die frühe Phase 2027–2030 empfindlich treffen und den Break-even nach hinten verschieben.

### 3.4.7.3 Langfristige Perspektive (Post-Darlehen)

Nach 2031, wenn das Darlehen vollständig getilgt ist:

| Jahr | EBIT (€/a) | EBIT-Marge (%) |
|------|------------|----------------|
| 2031 | 246.577    | 9,2            |
| 2032 | 695.631    | 25,3           |
| 2033 | 713.022    | 25,3           |
| 2034 | 857.826    | 28,0           |
| 2035 | 879.272    | 28,0           |

Tabelle 18 Langfristige Wirtschaftlichkeitsanalyse

Ohne Darlehenslasten verdoppelt sich die EBIT-Marge gegenüber der Aufbauphase. Dies zeigt das erhebliche **Langfrist-Gewinnpotenzial** der Anlage.

### 3.4.8. Interne Rendite und Nettobarwert-Analyse

Aus dem Verlauf der Cashflows (negativ 2025–2026, deutlich positiv ab 2027, sehr positiv ab 2032) ergibt sich überschlüssig:

- **Geschätzte interne Rendite (2025–2035):** ~8–12% p.a., abhängig von der genauen Berücksichtigung der KfW-Zuschüsse und der Mengenszenarien.
- Dies liegt über klassischen Unternehmensanleihen (3–4%), aber unter industriellen High-Growth-Projekten (12–15%)
- **Nettobarwert bei 5% Diskontrate:** Dürfte leicht positiv bis deutlich positiv sein, da die starken Cashflows nach 2031 die Anfangsinvestition, inkl. Finanzierungskosten, überkompensieren.

### 3.4.9. Kritische Erfolgsfaktoren und Risiken

| Erfolgsfaktor                              | Status/Annahme                                       | Risiko                              |
|--|--|-------------------------------------|
| Minstdurchsatz $\geq 16.500$ t/a           | Abgesichert durch Verträge (Daimler, KS, Wutal)      | Mittel–hoch (Markt-/Vertragsrisiko) |
| Verwertungspreis $\geq 140$ –150 €/t       | Wettbewerbsfähig zu Deponie/Primärsand               | Mittel (Preisdruck)                 |
| Energieeffizienz (Strom/Gas/Hackschnitzel) | 40 kWh/t Strom, 70 kWh/t Gas, 82 kWh/t Hackschnitzel | Mittel (Energiepreisisiko)          |
| Darlehenszinsen                            | 5% fest für 7 Jahre                                  | Niedrig                             |
| Technische Verfügbarkeit                   | Industriestandard, aber neue Anlage                  | Mittel (Anfahrkurve)                |

Tabelle 19 Kritische Erfolgsfaktoren und Risiken

### 3.4.10. Zusammenfassung: Wirtschaftliche Bewertung

- Amortisationszeit: ca. 6–7 Jahre ab Start Vollbetrieb (Break-even 2031), mit früher positiver operativer Ergebnislage ab 2027.
- EBIT-Marge: von –38% (Anlauf 2026) auf 7–9% (2030/31) und >25% ab 2032.
- Kostenvergleich: deutlicher Vorteil gegenüber reiner Entsorgung, da sowohl Deponiekosten vermieden als auch Regenerat-Umsätze generiert werden.
- Langfrist-Rentabilität: sehr attraktiv, da nach Darlehensende hohe Überschüsse bei relativ stabiler Kostenbasis erzielt werden.
- Risikoprofil: stark abhängig von Volumen- und Preissicherung sowie Energiepreisen; diese Risiken sind aber bei den gegebenen Verträgen und der technologischen Positionierung beherrschbar.

**Fazit:** Das Projekt ist mit der aktualisierten Kalkulation wirtschaftlich tragfähig und – insbesondere durch die Kombination aus KfW-Förderung, gesicherter Tonnage und stark steigenden EBIT-Margen nach 2031 – als **solider, langfristig rentabler Investitionsfall** einzustufen

### 3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Die innovative Nasssandregeneration erlaubt eine für das Sandkorn **besonders schonende Entfernung des Binders**. Das konventionelle Verfahren, die mech. therm. Regeneration hat zu rund 50 % Ausschuss geführt und beinhaltet hohe Energiekosten, so dass die Regeneration unwirtschaftlich war. Wir können die schonende Nasssandregeneration erstmals anbieten, weil wir den Regeneratsand, **dank der Kondensationsenergie-Rückgewinnung**, jetzt **erstmals energieeffizient Trocknen** können, bevor er wieder in den Gießereizyklus eingliedert wird.

## **4. Übertragbarkeit**

### 4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Die Generat-Sandqualität ist deutlich besser, als es die Versuchsanlage (Prototyp in Köln, ZIM-Projekt) erwarten ließ (Tabelle 1). Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass der Sand für den Transport in der Anlage mit Wasser gepumpt wird und dadurch ein zusätzlicher Reinigungseffekt auftritt.

Die Anlage ist zum Schluss teurer geworden als ursprünglich erwartet. Zum einen wurde bei der Trockentrommel der zugesagte Liefertermin um 3 Monate überschritten. Bei dem Hackschnitzelbunker kam es zu einer Insolvenz des Schweißbetriebes. Hier musste schnell ein neuer Lieferant gefunden werden, was ebenfalls zu einer Kostenerhöhung und zu einer Zeitverzögerung geführt hat. Durch die Verzögerungen kam es zu erheblichen Mehrkosten bei der Montage. Die Verzögerung des Produktionsstarts hat die Einnahmenseite reduziert. Zudem leiden Wasserpumpen und Wärmetauscher unter den Schwämmstoffen im Prozesswasser. Diese, zu einem wesentlichen Teil aus Grafitstaub bestehenden Niederschläge, lagern sich generell bei Stillstand ab. Eine zusätzliche Filteranlage konnte das Problem minimieren.

Wir konnten inzwischen umfangreiche Erfahrungen im Bereich der Energierückgewinnung machen und streben in einem **Folgeprojekt die Ausdehnung des Recyclings auf Altsande aus, die mit organischem Binder versetzt sind**. Dazu muss man die thermisch-mechanische Regeneration anwenden, wobei wir auch in diesem Kontext innovative Ideen für die Wärmerückgewinnung besitzen.

#### 4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/der Anlage/des Produkts)

Zurzeit treten wir gezielt an Entsorgungsunternehmen für Gießereisande heran, um für diese als Dienstleister die Regeneration der Altsande zu übernehmen. In diesem Kontext diskutieren wir auch, gemeinsam den Betrieb einer Nassandaufbereitung an anderen Standorten, als neues Gemeinschaftsunternehmen zu betreiben.

Aktuell besteht eine Anfrage von Toyota aus den USA für den Bau einer solchen Nassandaufbereitungsanlage. In den USA ist der Betrieb einer solchen Anlage wirtschaftlich deutlich attraktiver, da die Beschaffung des Quarzsandes dort für Toyota sehr viel teurer ist.

Eine weitere Anfrage kommt von einem Unternehmen, welches sich mit Wasserstrahlschneiden beschäftigt, wo das Abrasivmittel (Trägermaterial) gewaschen und aufbereitet werden muss für die weitere Verwendung. In diesem Bereich eröffnet sich ein neuer Markt für uns.

Das hier eingesetzt, von uns bereits patentierte Trocknungsverfahren kann bei allen Arten von Schüttgut zur Trocknung eingesetzt werden. Dabei spart es mindestens 50 % Energie, im Vergleich zu Trocknern gemäß dem Stand der Technik.

Die Technik ist übertragbar auf:

- a.) den **Lebensmittelbereich** (Mehl, Grieß, Stärke, Cerealien, ggfls. Mälzereien)
- b.) Auf **Klärschlamm**, dort ist jedoch das Problem, dass als Zwischenprodukt die **Leimphase** entsteht. Nach weiterer Trocknung lässt sich wieder gut mit dem Material arbeiten. Für

eine Großanlage entstehen folglich aus den technischen Risiken **zu hohe wirtschaftliche Risiken.**

### 4.3. Kommunikation der Projektergebnisse

#### 4.3.1. Überarbeitung der Internetseite

<https://fsp.gmbh/news/spatenstich-altsand-regenerierung/>  
<https://fsp.gmbh/news/neues-verfahren-altsand-regenerierung/>  
<https://fsp.gmbh/news/anlage-in-betrieb/>

#### 4.3.2. Einweihungsfeier mit vielen geladenen Gästen ([Link](#))

#### 4.3.3. Umfangreiche professionelle Pressearbeit

<https://prozesswaerme.net/prozesswaerme/fsp-foundry-sand-processing-eroeffnet-die-weltweit-erste-nassregenerierungsanlage-fuer-giesserei-altsande/>  
<https://www.at-minerals.com/de/news/fsp-foundry-sand-processing-eroeffnet-die-weltweit-erste-nassregenerierungsanlage-fuer-giesserei-altsande-4299274.html>  
[https://www.teckbote.de/nachrichten/kirchheim/fee%C3%9F-einneues-leuchtturmprojekt-am-neckar\\_arid-506789.html](https://www.teckbote.de/nachrichten/kirchheim/fee%C3%9F-einneues-leuchtturmprojekt-am-neckar_arid-506789.html)  
[https://www.wire.de/de/Media\\_News/News/Branchennews/FSP\\_nimmt\\_weltweit\\_erste\\_Nassregenerierungsanlage\\_f%C3%BCr\\_Gie%C3%9Ferei-Altsande\\_in\\_Betrieb](https://www.wire.de/de/Media_News/News/Branchennews/FSP_nimmt_weltweit_erste_Nassregenerierungsanlage_f%C3%BCr_Gie%C3%9Ferei-Altsande_in_Betrieb)  
<https://www.umweltwirtschaft.com/projekte-technologie/news/ersatzbaustoffe-fsp-reinigt-in-stuttgart-kuenftig-giessereisand-35390>  
<https://www.schuettgut.vogel.de/nassregenerierungsanlage-fuer-giesserei-altsande-eroeffnet-a-9ea712bd7a0666967e6683084da75e3c/>  
<https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/fsp-startet-aufbereitung-von-giesserei-altsand-291025/>  
<https://320grad.de/2025/10/27/neue-anlage-fuer-das-recycling-von-giessereisand/>  
<https://www.matthias-hiller.com/>

#### 4.3.4. Vorträge

Beispiel: An der TU Bergakademie Freiberg im Rahmen des [5. Formstoff-Forum](#) hat Herr Zimmermann die Anlage vorgestellt.

## 5. Zusammenfassung / Summary

### 5.1 Zusammenfassung (deutsch)

#### **Einleitung**

Die FSP GmbH wurde 2022 als Gemeinschaftsunternehmen der Heinrich Feeß GmbH & Co. KG (Recycling mineralischer Baustoffe) und der DEANTEC GmbH (Nass-Regenerierung) gegründet. Das Unternehmen entwickelt innovative Anlagen zum Recycling von Gießereisand auf Basis eigener Patente.

In Leichtmetallgießereien, insbesondere im Großserienguss der Automobilindustrie, wird anorganischer Binder (Wasserglas) zur Herstellung von Sandkernen eingesetzt. Die Regenerierbarkeit des Altsandes stellte bisher ein großes Problem dar. Konventionelle mechanisch-thermische Verfahren (z.B. bei BMW und Mercedes) erforderten hohe Energiemengen (416 kWh/t), erreichten nur begrenzte Regeneratqualität und machten den Ersatz von 50% des Altsandes durch Neusand notwendig. Trotz der prinzipiellen Wasserlöslichkeit von Wasserglasbindern scheiterte die Nasssand-Regeneration bisher an der energieintensiven Trocknung des aufbereiteten Sandes.

#### **Vorhabenumsetzung**

Ziel des Projektes war die Entwicklung und der Aufbau einer großtechnischen Anlage zur vollständigen Aufbereitung von anorganisch gebundenem Gießereialtsand, die sowohl ökologisch als auch ökonomisch überzeugt. Der Altsand sollte nicht mehr deponiert, sondern für die Formherstellung wieder aufbereitet werden – zu Kosten, die niedriger sind als die Summe aus Neusandbeschaffung und Altsandentsorgung.

Die technische Lösung basiert auf drei Kernelementen: (1.) Waschen des Altsandes zur Binderlösung, (2.) Waschwasser-Aufbereitung mittels Vakuumdestillation mit 95% Energierück-gewinnung) und (3.) unserem patentierten Trockner mit Kondensationsenergie-Rückgewinnung (DE10202111593A1). Bei diesem neuartigen Trockner wird feuchtheiße Luft abgesaugt, in den Zwischenraum zwischen Trommel und Metallummantelung gepresst, kondensiert dort und gibt die Kondensationswärme über die Trommelwand zurück an das Trocknungsgut im Inneren der Trocknungstrommel. Diese Innovation senkt den Energiebedarf auf nur 84 kWh/t Altsand – ein Fünftel des konventionellen Verfahrens.

Die Umsetzung erfolgte in mehreren Phasen: Virtuelle 3D-Planung der Anlage in die Halle, Entwicklung des Prozessleitsystems, Montage der Anlage am Standort Stuttgart und abschließend Inbetriebnahme und Optimierung der Anlage. Optimierungen betrafen u.a. die Hydrozyklon-Apex-Düse, zusätzliche Filteranlagen wegen Grafitverunreinigungen des Altsandes, Bandfilter mit weiteren Poren und Verbesserungen am Hackschnitzel-BHKW.

## Ergebnisse

**Technische Zielerreichung:** Die Qualitätskriterien aus dem Lastenheft, bezogen auf den Regeneratsand, wurden erreicht oder übertroffen. Restfeuchte, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Säureverbrauch, mittlere Korngröße und Reststaubgehalt liegen im Zielbereich. Die Regeneratqualität ermöglicht die Herstellung aller Sandkerne mit nur 10% Neusandzugabe (Ziel: 4%, Stand der Technik: 50%).

**Energie- und Stoffbilanz:** Der spezifische Energiebedarf wurde auf 86 kWh/t gesenkt (31 kWh/t Strom + 55 kWh/t Gas. Dies entspricht einer **Energieeinsparung von 80%** gegenüber der thermisch-mechanischen Regeneration (416 kWh/t). Die Anlagenleistung beträgt durchschnittlich 2.520 kg/h bei typischen Betriebsbedingungen.

**Umwelentlastung:** Die CO<sub>2</sub>-Emission sinkt von 90 kg/t (therm.-mech. Regeneration) auf 24 kg/t (Nasssand-Regeneration) – eine Einsparung von 66 kg CO<sub>2</sub>/t Altsand. Bei einer lokalen Aufbereitung von 16.500 t/a Gießereialtsand resultiert daraus eine CO<sub>2</sub>-Reduktion von 1,089 Mio. kg/Jahr aus Energieeinsparung. Hinzu kommen 120.000 kg/Jahr an CO<sub>2</sub>-Einsparung durch drastisch verkürzten Transportaufwand, der in der Vergangenheit für Neusand aufgewendet wurde (90% Kreislaufquote statt 50%). **Insgesamt werden über 1,2 Mio. kg/Jahr CO<sub>2</sub> eingespart.**

**Ressourcenschutz:** Die **Kreislaufquote von hochwertigem Quarzsand steigt von 50% auf 90%**. Der Neusandbedarf sinkt von 8.250 t/a auf 1.650 t/a. Dies schont hochwertige Quarzsandvorkommen und entlastet Deponien erheblich. Hochwertiger Quarzsand, eine global zunehmend knappe Ressource, wird im Kreislauf gehalten.

**Wirtschaftlichkeit:** Bei Gesamtinvestitionskosten von 3,5 Mio. € (finanziert durch KfW-Förderung 1,06 Mio. € und Darlehen 2,47 Mio. €) erreicht die Anlage operative Profitabilität ab 2027. Der Break-even wird nach etwa 6–7 Jahren (2031) erreicht. Die EBIT-Marge steigt von 5,9% (2027) auf über 25% nach Darlehenstilgung (ab 2032). Aus Kundensicht bietet Nasssand-Regenerat einen wirtschaftlichen Vorteil von 9,3 €/t gegenüber mechanisch-thermischer Aufbereitung (137,2 €/t vs. 146,5 €/t). Die Anlage fungiert nicht als reine Entsorgung, sondern als Wertschöpfungsmodul der Kreislaufwirtschaft mit Umsatzerlösen von 1,4 Mio. € (2026) bis über 3,1 Mio. € (2035).

## Ausblick

Die Praxiseinführung verlief erfolgreich. Die Regeneratqualität übertrifft die Erwartungen aus der Pilotanlage, vermutlich durch zusätzliche Reinigungseffekte beim hydraulischen Transport. Herausforderungen wie Grafitverunreinigungen, Prozesswasser-Schwämmstoffe und BHKW-Sensoren konnten durch Optimierungen bewältigt werden.

Der Modellcharakter des Verfahrens zeigt sich in vielfältigen Übertragungsmöglichkeiten: Aktuell besteht eine Anfrage von Toyota (USA) für den Bau einer vergleichbaren Anlage, da Quarzsandbeschaffung dort deutlich teurer ist. Kooperationen mit Entsorgungsunternehmen für Gießereisande sind im Aufbau. Neue Anwendungsgebiete eröffnen sich im Wasserstrahlschneiden (Abrasive-Aufbereitung). Das patentierte Trocknungsverfahren ist auf diverse Schüttgüter übertragbar (Lebensmittelbereich: Mehl, Grieß, Stärke, Cerealien;

bedingt Klärschlamm). Ein Folgeprojekt zur Ausdehnung auf organisch gebundene Altsande mit innovativer Wärmerück-gewinnung in der thermisch-mechanischen Regeneration ist geplant.

Die Verbreitung wird durch umfangreiche Kommunikationsmaßnahmen unterstützt: Überarbeitung der Webseite (fsp.gmbh), Einweihungsfeier mit geladenen Gästen, professionelle Pressearbeit in Fachmedien und Vorträge (z.B. 5. Formstoff-Forum TU Bergakademie Freiberg). Das Projekt demonstriert den erfolgreichen Übergang von der Innovation zur wirtschaftlich tragfähigen, großtechnischen Kreislaufwirtschaftslösung mit erheblichem Umweltnutzen.

## 5.2 Summary (englisch)

### **Introduction**

FSP GmbH was founded in 2022 as a joint venture between Heinrich Feeß GmbH & Co. KG (mineral building material recycling) and DEANTEC GmbH (wet regeneration). The company develops innovative systems for recycling foundry sand based on its own patents.

In light metal foundries, especially in large-scale casting in the automotive industry, inorganic binders (water glass) are used to produce sand cores. The recyclability of used sand has been a major problem up to now. Conventional mechanical-thermal processes (e.g. at BMW and Mercedes) required high amounts of energy (416 kWh/t), achieved only limited regenerate quality and made it necessary to replace 50% of the used sand with new sand. Despite the fundamental water solubility of water glass binders, wet sand regeneration has so far failed due to the energy-intensive drying of the processed sand.

### **Project implementation**

The aim of the project was to develop and construct a large-scale plant for the complete processing of inorganically bound used foundry sand that is both ecologically and economically viable. The used sand should no longer be landfilled, but reprocessed for mold production – at a cost lower than the sum of new sand procurement and used sand disposal.

The technical solution is based on three core elements: (1) washing the used sand to remove the binder, (2) treating the wash water by means of vacuum distillation with 95% energy recovery, and (3) our patented dryer with condensation energy recovery (DE10202111593A1). In this innovative dryer, hot, humid air is extracted, pressed into the space between the drum and the metal casing, where it condenses and returns the condensation heat via the drum wall to the material inside the drying drum. This innovation reduces energy consumption to just 84 kWh/t of used sand – one-fifth of the conventional process.

The implementation took place in several phases: virtual 3D planning of the plant in the hall, development of the process control system, assembly of the plant at the Stuttgart site and, finally, commissioning and optimisation of the plant. Optimisations included the hydrocyclone apex nozzle, additional filter systems due to graphite contamination of the used sand, belt filters with additional pores and improvements to the wood chip CHP unit.

### **Results**

Technical target achievement: The quality criteria from the specifications relating to the regenerated sand were achieved or exceeded. Residual moisture, pH value, electrical conductivity, acid consumption, average grain size and residual dust content are within the target range. The quality of the recycled sand allows all sand cores to be produced with only 10% new sand added (target: 4%, state of the art: 50%).

Energy and material balance: The specific energy requirement was reduced to 86 kWh/t (31 kWh/t electricity + 55 kWh/t gas). This corresponds to an **energy saving of 80%** compared to thermal-mechanical regeneration (416 kWh/t). The plant output averages 2,520 kg/h under typical operating conditions.

Environmental impact: CO<sub>2</sub> emissions are reduced from 90 kg/t (thermomechanical regeneration) to 24 kg/t (wet sand regeneration) – a saving of 66 kg CO<sub>2</sub>/t of used sand. With local processing of 16,500 t/a of used foundry sand, this results in a CO<sub>2</sub> reduction of 1.089 million kg/year from energy savings. In addition, there are 120,000 kg/year in CO<sub>2</sub> savings due to drastically reduced transport costs, which were incurred in the past for new sand (90% recycling rate instead of 50%). **In total, over 1.2 million kg/year of CO<sub>2</sub> are saved.**

Resource conservation: The **recycling rate for high-quality quartz sand increases from 50% to 90%**. The demand for new sand falls from 8,250 t/a to 1,650 t/a. This conserves high-quality quartz sand deposits and significantly reduces the burden on landfills. High-quality quartz sand, a globally increasingly scarce resource, is kept in circulation.

Economic efficiency: With total investment costs of €3.5 million (financed by KfW funding of €1.06 million and a loan of €2.47 million), the plant will achieve operational profitability from 2027 onwards. The break-even point will be reached after approximately 6–7 years (2031). The EBIT margin will rise from 5.9% (2027) to over 25% after loan repayment (from 2032). From the customer's point of view, wet sand regeneration offers an economic advantage of €9.3/t compared to mechanical-thermal processing (€137.2/t vs. €146.5/t). The plant does not function purely as a disposal facility, but as a value-adding module in the circular economy with sales revenues ranging from €1.4 million (2026) to over €3.1 million (2035).

## **Outlook**

The practical implementation was successful. The quality of the regenerated material exceeds the expectations from the pilot plant, presumably due to additional cleaning effects during hydraulic transport. Challenges such as graphite contamination, process water sponges and CHP sensors were overcome through optimisations.

The model character of the process is evident in a wide range of transfer possibilities: there is currently an enquiry from Toyota (USA) for the construction of a comparable plant, as quartz sand procurement is significantly more expensive there. Cooperations with waste disposal companies for foundry sand are currently being established. New areas of application are opening up in water jet cutting (abrasive treatment). The patented drying process can be applied to various bulk materials (food sector: flour, semolina, starch, cereals; sewage sludge to a limited extent). A follow-up project is planned to extend the process to organically bound waste sand with innovative heat recovery in thermal-mechanical regeneration.

Dissemination is supported by extensive communication measures: revision of the website (fsp.gmbh), inauguration ceremony with invited guests, professional press work in trade media and presentations (e.g. 5th Formstoff Forum at TU Bergakademie Freiberg). The project demonstrates the successful transition from innovation to an economically viable, large-scale circular economy solution with significant environmental benefits.

## **6. Literatur**

## 7. Anhang

### 7.1 Anhang „Genehmigung gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz“



Regierungspräsidium Stuttgart | Postfach 80 07 09 | 70507 Stuttgart

Zustellungsurkunde

Heinrich Feess GmbH & Co. KG  
Heinkelstr. 2  
73230 Kirchheim/Teck  
Deutschland

#### Abteilung Umwelt

Name: Frau Schreiber  
Telefon: 0711 904-15426  
E-Mail: [abteilung5@rps.bwl.de](mailto:abteilung5@rps.bwl.de)

Geschäftszeichen: RPS54\_2-8823-2159/4/1  
(bei Antwort bitte angeben)

Datum: 08.04.2025

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Kassenzeichen: 2505170273107</b><br>Bitte bei Zahlung angeben! |             |
| <b>Zahlungsempfänger: Landesoberkasse BW<br/>Karlsruhe</b>        |             |
| IBAN: DE02 6005 0101 7495 5301 02<br>BIC: SOLADEST600             |             |
| <b>Betrag:</b>  | 6000,00 EUR |

**Fa. Heinrich Feess GmbH & Co. KG, Standort Am Westkai 9 in Stuttgart-Wangen**

**Immissionsschutzrechtliche Änderungsgenehmigung zur Optimierung der Anlage zur Aufbereitung von Gießereialtsanden, Änderung der Lagerbereiche und Stoffstromverschiebungen, Erweiterung des Abfallinputkataloges**

Sehr geehrte Damen und Herren,

hiermit ergeht folgende

#### **A. Entscheidung**

Die Fa. Heinrich Feess GmbH & Co. KG (Fa. Feess) erhält für den Betriebsstandort Am Westkai 9, in 70327 Stuttgart-Wangen, auf Antrag vom 29.05.2024, zuletzt ergänzt am 02.04.2025 die

#### **immissionsschutzrechtliche Genehmigung**

Seite 1

Dienstgebäude Ruppmannstr. 21  
70565 Stuttgart  
Telefon: 0711 904-0  
Telefax: 0711 782851-15001

Homepage: <https://rp.baden-wuerttemberg.de>  
Serviceportal: [www.service-bw.de](http://www.service-bw.de)  
Haltestelle Bahnhof Stuttgart-Vaihingen  
Parkmöglichkeit Tiefgarage



1. zur Erhöhung der Behandlungsmenge an Gießereialtsanden mit anorganischen Bindemitteln von bisher max. 15 t/d (4.800 t/a) auf künftig max. 42 t/d (16.000 t/a), unter Beibehaltung der bereits genehmigten Gesamtkapazität für nicht gefährliche Abfälle in Höhe von 800 t/d (60.000 t/a).

---

2. zur Behandlung von Gießereialtsanden mit anorganischen Bindemitteln (ausschließlich nicht gefährliche Abfälle mit den Abfallschlüsseln (AS) 10 09 06; 10 09 08, 10 10 06, 10 10 08).
3. zur Erhöhung der Lagermenge an Gießereialtsanden mit anorganischen Bindemitteln von bisher max. 70 t auf künftig max. 600 t, unter Beibehaltung der bereits genehmigten Gesamtlagermenge für nicht gefährliche Abfälle in Höhe von 8.165 t.

---

4. zur Lagerung von Gießereialtsanden mit anorganischen Bindemitteln (ausschließlich nicht gefährliche Abfälle mit den AS 10 09 06; 10 09 08, 10 10 06, 10 10 08)

---

5. zur Änderung der Lagerbereiche im Außenbereich wie folgt:
  - 5.1. zeitweilige Lagerung nicht gefährlicher Abfälle (AS 19 12 07, 17 09 04, 19 12 03, 19 12 02) von bisher 4 Mulden auf künftig 2 Mulden,
  - 5.2. keine Lagerung von Produkten im Außenbereich.

---

6. zur Erweiterung des Abfallinputkataloges um die AS 10 09 06; 10 09 08, 10 10 06, 10 10 08.



7. Gemäß § 13 BImSchG ist in diese Genehmigung nach § 58 Landesbauordnung (LBO) die erforderliche Baugenehmigung für die Errichtung von 8 Silos für Gießereialsande (AS 10 09 06; 10 09 08, 10 10 06, 10 10 08) und regenerierte Gießereisande bzw. Neusand im Außenbereich nordwestlich der bestehenden Halle eingeschlossen.
- 
8. Bestandteile dieser Genehmigung sind die in Abschnitt B genannten Antragsunterlagen, sowie die in Abschnitt C festgelegten Nebenbestimmungen. Das Vorhaben ist entsprechend der vorgelegten Antragsunterlagen auszuführen, sofern durch die nachstehenden Nebenbestimmungen nichts Anderes festgelegt ist. Im Übrigen gelten die Bestimmungen bisheriger Zulassungen weiter, soweit in dieser Entscheidung nichts Anderes geregelt ist.
- 
9. Der Erlass nachträglicher Anordnungen bleibt vorbehalten, falls nach Erteilung der Genehmigung festgestellt wird, dass die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft nicht ausreichend vor schädlichen Umwelteinwirkungen oder sonstigen Gefahren, erheblichen Nachteilen oder erheblichen Belästigungen geschützt ist (vgl. §§ 17 Abs. 1, 52 Abs.1 BImSchG).
- 
10. Für diese Entscheidung wird eine Gebühr in Höhe von 6.000,00 Euro festgesetzt, die die Antragstellerin zu tragen hat.